

As equações matemáticas no ensino de Física: Uma análise de conteúdos em livros didáticos de Física

Antonio Jorge Sena dos Anjos¹, Concesa Caballero Sahelices² e Marco Antonio Moreira³

¹Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil. E-mail: anjos.antonio@gmail.com, ²Universidad de Burgos, Espanha. E-mail: concesa@ubu.es, ³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: moreira@if.ufrgs.br.

Resumo: Neste trabalho se apresenta os resultados da análise dos conteúdos de livros didáticos de Física para o Ensino Médio, na qual se buscou conhecer o tratamento dispensado às equações matemáticas. Com esta finalidade, foram analisadas as obras de Física avaliadas e recomendadas pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) para o Ensino Médio. A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud constituíram os principais referenciais deste estudo. Com base na análise das evidências encontradas, se pode concluir que a maneira como são tratadas as equações matemáticas nos textos didáticos, pode se constituir em obstáculo pedagógico para o aprendizado significativo dos saberes físicos, uma vez que essas equações são de fundamental importância para o ensino da Física.

Palavras-chave: equações matemáticas, ensino de Física, aprendizagem significativa.

Title: Mathematical equations in physics teaching: An analysis of physics textbooks contents.

Abstract: This paper presents the findings of an analysis of physics textbooks contents, especially those recommended by the Brazilian National Textbook Program for secondary education, in which an attempt was made to identify how those textbooks deal with the role of mathematics equations in physics. Ausubel's meaningful learning theory and Vergnaud's conceptual fields theory were the main theoretical framework under which the study was carried out. Research findings suggest that the way the equations are dealt in the physics textbooks might work as a pedagogical obstacle to the meaningful learning of the physics knowledge since the equations are extremely important in the teaching of physics.

Keywords: mathematical equations, physics teaching, meaningful learning.

Introdução

Em geral, o ensino das Ciências Naturais é pautado no conhecimento de leis e princípios, conceitos e significados, fórmulas e equações, descontextualizado e desconectado da realidade do aprendiz que, por sua vez, é agente passivo no processo.

Particularmente em Física, onde o ensino é desenvolvido com base no uso de fórmulas e equações, além de leis, princípios e conceitos isolados, a aprendizagem, por consequência, ocorre de forma mecânica, estéril e desvinculada do mundo vivenciado pelo estudante, proporcionando-lhe condições que, na maioria das vezes, apenas lhe permite repetir os enunciados das leis sem entender os significados dos conceitos e resolver mecanicamente, com o uso das expressões matemáticas, os problemas propostos no livro texto.

Ao preparar suas aulas, ao elaborar seus planejamentos, o professor, geralmente, o faz tomando como referência os livros didáticos pertinentes ao nível de escolaridade que pretende lecionar. Todavia, na maioria das vezes, o professor não percebe a necessidade de fazer adequações nos conteúdos desses textos (que por sua vez já o fizeram nos conteúdos originais) para fins de ensino. Ou seja, ele ou ela não se dá conta da necessidade de realizar uma transposição didática. Segundo Alves Filho et al. (2001),

uma das principais funções da escola é a transmissão dos conhecimentos produzidos pela humanidade. Para que haja transmissão, é necessário que o conhecimento seja apresentado de maneira que possa ser aprendido pelos alunos. É nesse ponto que se manifesta uma das principais transformações do conhecimento, isto é, a diferença entre o conhecimento produzido e o conhecimento oferecido ao aprendiz. A constatação de que um conhecimento trabalhado na escola difere daquele conhecimento produzido originalmente implica aceitação da existência de processos transformadores que o modificam. (p. 78).

Salienta ainda a obra citada, baseada em Chevallard (1991), que na condição de elemento de análise do processo de transformação do conhecimento, a transposição didática estabelece a existência de três níveis ou patamares do saber: o saber sábio, fruto da produção de intelectuais e cientistas; o saber a ensinar, conhecimentos constantes nos manuais de ensino e livros didáticos e o saber ensinado, os conteúdos trabalhados em sala de aula frutos da intervenção didática do professor (op. cit. p.79). Acrescentar-se-ia a esses saberes, o saber aprendido não enfatizado por Chevallard (1991), ou seja, aquilo que constitui no efetivo aprendizado do indivíduo, resultante desse processo de transposição didática.

Entretanto, para este trabalho, os nossos interesses recaem sobre o saber a ensinar, enquanto contexto de investigação, na medida em que são esses conhecimentos aos quais os estudantes têm acesso e possibilidades de aprendizagem através dos livros de texto. Os educandos, ao interagirem com esses saberes, envolvem-se em situações de aprendizagem, permeadas de modelos conceituais, elaborados pelos autores para facilitar a compreensão e/ou o ensino dos conteúdos de Física, que podem constituir-se em obstáculos pedagógicos para o entendimento dos conceitos e significados.

Os modelos conceituais elaborados por pesquisadores, autores e professores têm alguma relação com os modelos mentais (Johnson-Laird, 1983) na mente do aprendiz. Nesse sentido, afirma Moreira (2005) quando diz:

Os modelos conceituais são delineados, projetados, por pessoas que usam modelos mentais para facilitar a compreensão de sistemas físicos por parte de outras pessoas que também utilizam modelos mentais. No ensino, professor ensina modelos conceituais e espera que o aprendiz construa modelos mentais consistentes com esses modelos conceituais que, por sua vez, devem ser consistentes com os sistemas físicos modelados. (p. 55).

A rigor, os modelos conceituais podem contribuir para construção de modelos mentais “que explicam e predizem consistentemente com o conhecimento aceito em uma certa área”. (Moreira, 2005, p.55). Tratam-se, portanto, de representações coerentes, precisas e completas.

Por outro lado, os estudantes, ao interagirem com tais representações, constroem os seus modelos (os mentais), buscando entender aquilo que está sendo ensinado. Em geral esses modelos, embora funcionais, não são (ao contrário dos modelos conceituais) consistentes e precisos. Ao interagir com o sistema o aprendiz modifica seu modelo e de forma recursiva busca alcançar e manter sua funcionalidade. Em outras palavras, no caso da Física, os estudantes usam seus modelos mentais para representar aquilo que lhes ensinaram através de modelos conceituais.

As pesquisas em ensino de Física (Oliveira, 2003; Wu, 2005; Anjos, 2009;) têm apontado que, nos livros didáticos, os conteúdos de Física são trabalhados com ênfase nas equações matemáticas, enquanto os conceitos científicos são deixados à margem e descaracterizados quanto ao processo histórico e epistemológico de sua elaboração.

Vale salientar, que uma visão puramente matemática de uma expressão consiste, apenas, em munir o estudante de um instrumento de cálculo em detrimento do aspecto fenomenológico que ela própria descreve. A ênfase, portanto, é na equação matemática que, apresentada como uma espécie de síntese dos conteúdos se mostra, de forma equivocada, como um instrumento capaz de responder questões, resolver situações-problema e até mesmo elucidar a fenomenologia em estudo.

Mas o que há por trás dessas equações, são expressões que representam matematicamente as leis, os princípios, os teoremas ou simplesmente relacionam variáveis-conceito? E os conceitos, implícitos nas variáveis das equações, de que forma interferem no processo conceitualização?

Conforme Vergnaud (apud Moreira, 2004),

não requer o mesmo nível de conceitualização saber calcular a velocidade dividindo um espaço por um tempo, expressar em forma lingüística a idéia de que velocidade é proporcional à distância quando a duração se mantém constante, ou que a distância é uma função bilinear da duração e da velocidade e expressar esta idéia por uma fórmula. (p. 45).

Com base nas considerações feitas até o momento, perguntamos: O que de Física entendem os estudantes quando usam equações matemáticas na resolução de problemas? Que representações elaboram os indivíduos quando operam com essas “fórmulas”? Em que medida as “fórmulas” podem se revelar como uma representação suficientemente dinâmica de

modo a formar um modelo de mundo que possa “rodar” e, portanto, prever e explicar?

Este trabalho se propõe a apresentar os resultados de análises realizadas em alguns textos didáticos de Física, mais precisamente as obras recomendadas pelo PNLD (Programa Nacional do Livro Didático) para o Ensino Médio, com o objetivo de avaliar o nível de abordagem didática dos saberes científicos, em particular dos conteúdos: Impulso, quantidade de movimento linear e sua conservação, no que se refere à presença e uso das expressões matemáticas na exposição didática desses conteúdos.

Enquanto a atividade científica se constitui de uma investigação e busca de resultados não disponíveis, a atividade escolar, em geral, reveste-se de um estudo sobre os conhecimentos já estruturados e validados pela comunidade acadêmica. Nesse sentido, o modo pelo qual são expostos didaticamente os saberes científicos nos textos didáticos, pode favorecer (ou não) o seu aprendizado, visto que o livro é um recurso pedagógico essencial para estudantes e professores enquanto elemento de estruturação escolar dos saberes científicos.

Questões e objetivos

Nesta pesquisa, a problemática teve origem na nossa prática profissional, enquanto professor de Física nos três níveis de ensino (fundamental, médio e superior) e pesquisador na área de ensino de Física. Essas experiências nos fizeram refletir sobre o papel das equações matemáticas tanto no ensino de Física praticado nas escolas, quanto na forma como os conteúdos são apresentados nos livros didáticos.

Nosso problema de pesquisa, portanto, consistiu em refletir e buscar redimensionar o entendimento dos estudantes sobre as equações matemáticas, a partir das suas concepções e dos modelos mentais por eles elaborados, quando procuram entendê-las sob o ponto de vista da Física.

Para melhor entendimento desse problema, podemos desmembrá-lo em algumas questões-foco: Quais as concepções de estudantes e professores sobre as equações matemáticas sob o ponto de vista da Física? Que tipo de representações os estudantes elaboram ao interagirem com as equações matemáticas no estudo de conteúdos da Física? Qual o tratamento dispensado pelos livros didáticos de Física às equações matemáticas?

Particularmente, neste trabalho (parte de um estudo mais amplo) que ora apresentamos e que tem como objetivo analisar o tratamento dispensado pelos livros didáticos de Física às equações matemáticas, a nossa atenção estará voltada apenas para a última das questões acima mencionadas.

Marco teórico

Fazem parte do marco teórico deste trabalho, as teorias que se constituíram como referências para efeito de análise e tratamento dos dados da pesquisa. Para tanto, do ponto de vista da Psicologia Cognitiva usou-se a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de G. Vergnaud (1990) e a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de D. Ausubel (2000). Do ponto

de vista da Física, foram levados em consideração os conceitos de impulso, quantidade de movimento e sua conservação.

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Vergnaud

Trata-se de uma teoria psicológica cognitivista que supõe a conceitualização do real como o núcleo do desenvolvimento cognitivo.

Gérard Vergnaud, com a sua teoria, amplia e redireciona o foco piagetiano das operações lógicas, das estruturas gerais do pensamento, para o estudo do funcionamento cognitivo do "sujeito-em-situação". Diferentemente de Piaget, ele toma como referência o próprio conteúdo do conhecimento e a análise conceitual desse conhecimento. (Vergnaud, 1994 e Franchi, 1999, apud Moreira, 2004, p. 07).

Para Vergnaud (apud Moreira, 2004), Piaget não considerou o quanto o desenvolvimento cognitivo do indivíduo depende de situações e contextualizações específicas indispensáveis para trabalhar com elas.

Como também Piaget "não percebeu o infrutífero que é tentar reduzir a complexidade conceitual, progressivamente dominada pelas crianças, a algum tipo de complexidade lógica geral". (op.cit, p.7).

Por outro lado, Vergnaud destaca na reconhecida e importante obra de Piaget, os conceitos de adaptação, desequilíbrio e reequilíbrio, como sendo de fundamental importância na pesquisa em didática das Ciências e Matemática. E mais, acredita "que a grande herança deixada por Piaget foi o conceito de esquema" (op.cit., p.8), tido como fundamental para sua obra.

De igual forma, Vergnaud também reconhece que a sua Teoria dos Campos Conceituais foi desenvolvida levando em conta a obra de Vygotsky. "Isto se percebe, por exemplo, na importância atribuída à interação social, à linguagem e à simbolização no progressivo domínio de um campo conceitual pelos alunos". (op.cit., p.8).

Nesta sua obra, Vergnaud considera que o conhecimento se organiza em campos conceituais, cujo domínio pelo indivíduo acontece durante longo tempo, por meio de experiências, maturidade e aprendizagem. Para ele, campo conceitual é "um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados um aos outros e, provavelmente, entrelaçados durante o processo de aquisição". (op.cit, p.8).

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel (2000) tem como foco principal essa aprendizagem cognitiva, que por definição envolve a aquisição de novos significados, considerados como produtos finais da aprendizagem significativa.

Ausubel tem sua atenção sempre voltada para a aprendizagem que ocorre no cotidiano das escolas. Ele considera aquilo que o estudante já sabe como sendo o fator que mais influencia no seu aprendizado. Segundo ele (apud Moreira, 1999),

novas ideias e informações podem ser aprendidas e retidas na medida em que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem, dessa forma, como ponto de ancoragem às novas ideias e conceitos. Entretanto, a experiência cognitiva não se restringe à influência direta dos conceitos já aprendidos sobre componentes da nova aprendizagem, mas abrange também modificações relevantes nos atributos da estrutura cognitiva pela influência do novo material. (p.152).

Na TAS, o conceito central é o conceito de aprendizagem significativa. Segundo Moreira (1999),

a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo. Isto é, nesse processo a nova informação interage com uma estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel chama de 'conceito subsunçor' ou, simplesmente, 'subsunçor', existente na estrutura cognitiva de quem aprende. (p.11).

Observemos, entretanto, que na teoria de Ausubel fala-se que a nova informação relaciona-se de forma "não literal" e "não arbitrária", com aspectos relevantes da estrutura cognitiva o que não significa, portanto, se tratar de uma aprendizagem mecânica, na qual as novas informações pouco ou nada interagem com os conceitos relevantes e pré-existentes na mente do indivíduo, mas sim um processo que ofereça condições para que a aprendizagem ocorra significativamente.

Marco metodológico

Para este trabalho optou-se pela orientação metodológica qualitativa, com a utilização do método de análise de conteúdos, por este constituir-se num excelente recurso para se trabalhar com os conteúdos dos livros didáticos. Como qualquer outra técnica, a análise de conteúdo "adquire sua força e seu valor exclusivamente mediante o apoio de determinado referencial teórico" (Triviños, 1987, p.159).

Nossa intenção, portanto, foi usar esse método para analisar as mensagens e informações escritas nos textos didáticos, buscando fazer inferências sobre os conteúdos apresentados à luz das teorias que suportam este estudo.

Para efeito de análise, optamos por considerar os conteúdos relacionados a "Impulso, quantidade de movimento e sua conservação" constantes nos livros de textos de Física do Programa Nacional do Livro Didático (PNDL). A escolha desse material se deve ao fato de serem estas obras já analisadas e avaliadas pelo Ministério da Educação, através de especialistas das áreas de Física e Ensino de Física, condições que as credibilizam como textos didáticos de relevante qualidade para o Ensino de Física em nosso país. São elas:

R1: Alvarenga, B. & Máximo, A. Curso de Física. (2008). vol. 2. São Paulo. Editora Scipione. p. 12-42 (Capítulo 9).

R2: Gaspar, A. Física: ciência e tecnologia (2008). 1ª ed., vol. único. São Paulo. Editora Ática. p. 168-177 (Capítulo 18).

R3: Gonçalves Filho, A. & Toscano, C. Física (2008). vol. único. São Paulo. Editora Scipione. p. 31-39 (Capítulo 1).

R4: Penteado, P. C. & Torres, C. M. A. Física: ciência e tecnologia. (2005). vol. 1. São Paulo. Editora Moderna. p.123-134 (Capítulo 5).

R5: Sampaio, J. L. & Calçada, C. S. Física. (2005). vol. único. São Paulo. Editora Atual. p. 129-141 (Capítulos 25 e 26).

R6: Sampaio, J. L. & Calçada, C. S. Universo da Física. (2005). 2ª ed. vol.1. São Paulo. Editora Atual. p. 384-414 (Capítulo 16).

O procedimento metodológico de análise desses textos teve como base alguns critérios (contextualização histórica e filosófica, experiências cotidianas, saber científico e saber escolar, matematização dos conceitos, exercícios resolvidos e propostos, nível de elaboração das situações-problema) relacionados com o tipo de “saber a ensinar” apresentado nesses textos. Entretanto, nosso olhar voltou-se mais firmemente para a matematização dos conceitos. Ou seja, o uso das expressões matemáticas (fórmulas), na apresentação didática dos conteúdos e na formalização dos conceitos, se constituiu no foco principal desse estudo.

Análise e resultados

Coerentemente com o que nos propomos, nossa análise voltou-se sempre para o “saber a ensinar” apresentado nesses livros didáticos, mais precisamente os saberes relacionados aos conteúdos impulso, quantidade de movimento e sua conservação.

A análise das obras supracitadas revelou algumas semelhanças entre elas, como também características singulares e peculiares a cada obra. A seguir serão apresentados os comentários resultantes da análise dos conteúdos relativos aos capítulos apreciados de cada uma das referências.

R1.- Curso de Física de Alvarenga e Máximo (2008)

Das obras analisadas, esta se configura como um texto denso de informações sobre o conteúdo apresentado, sempre buscando relacionar o saber científico com o cotidiano dos estudantes, sugerindo experiências simples para serem realizadas, além de buscar situações mais atuais e avançadas, na Física Moderna, como forma, possivelmente, de credibilizar os saberes ensinados. Destaca-se, também, o grande número de informações sobre o processo de elaboração da Física e sua relação com outras áreas do saber, proporcionando, dessa forma, uma visão mais ampla e aberta da Ciência.

Embora tenhamos notado toda essa preocupação dos autores, fato que por certo engrandece a obra, por outro lado observamos que as expressões matemáticas constituem-se, essencialmente, em elementos de definição de conceitos físicos.

Por maior esforço que se tenha feito antes, buscando relacionar os conteúdos com o cotidiano, a definição de um conceito reduz-se

basicamente à leitura da expressão matemática: "... define-se o impulso \vec{I} , exercido pela força, através da expressão $\vec{I} = \vec{F}\Delta t$ " (1).

A nosso ver, essa forma de tratamento atribuído às equações, as coloca num pseudo patamar de destaque em detrimento à definição científica do conceito que matematicamente ela representa. Fato que por certo influenciará o estudante/leitor a somente aceitar e confiar num conceito quando procedido de uma expressão matemática que o ratifique.

R2.– Física de Gaspar (2008)

Trata-se de um texto bem característico das obras de volume único, com linguagem objetiva e direta. Nesse sentido a obra privilegia também o uso das expressões matemáticas para definir os conceitos e asserções de valor referentes aos conteúdos trabalhados, não obstante o autor tenha evidenciado sua preocupação de informar, para uma mesma equação, as conotações matemáticas e físicas do conceito em foco.

Como ocorre na maioria dos textos de Física, nesta obra, é bastante evidente a ênfase no uso das equações matemáticas na definição de conceitos e no tratamento das leis e teoremas. Por exemplo, o autor define a grandeza impulso em função da expressão (1).

Mais adiante ele tenta conceituar a grandeza quantidade de movimento, tendo como ponto de partida a expressão da 2ª Lei de Newton, $\vec{F}r = m\vec{a}$ (2), a qual se chegou à forma $\vec{F}r\Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_o$ (3), concluindo-se daí que o Impulso $\vec{F}r\Delta t$ é igual à diferença entre os produtos $m\vec{v}$ e $m\vec{v}_o$. A esse produto ($m\vec{v}$) ele chama \vec{p} e conclui que sendo $\vec{p} = m\vec{v}$ (4), $\vec{I}_{Fr} = \Delta\vec{p}$ (5), expressão conhecida como teorema do impulso.

Portanto, nesse texto, as equações são usadas como inequívocas provas matemáticas daquilo que se quer dizer fisicamente. Ou seja, essas expressões são verdadeiras "equações físicas".

R3.– Física de Gonçalves e Toscano (2008)

Refere-se a uma obra de volume único na qual os conteúdos são trabalhados, inicialmente, buscando a elaboração dos conceitos a partir de fatos e situações do cotidiano dos estudantes, para, em seguida, apresentar a respectiva definição matemática, através da expressão que representa o conceito elaborado. Observamos isso no processo de conceituação que, tanto para o impulso como para a quantidade de movimento, os autores buscaram fazer esse tipo de relação, deixando para depois a definição vetorial das grandezas.

Mesmo com espaço limitado de exposição didática dos conteúdos a obra busca, ao menos nesse capítulo, não dar tanta ênfase às equações matemáticas no processo de elaboração dos conceitos. Privilegia bastante as situações-problema do cotidiano dos estudantes deixando as equações em segundo plano, embora ainda as use como definição dos conceitos, quando afirmam, por exemplo: "Fisicamente, o impulso (\vec{I}) é definido como o produto entre a força aplicada (\vec{F}) num objeto e o intervalo de tempo

(Δt) em que age sobre o objeto. (1)” (p.32). Ou ainda se referindo à quantidade de movimento: “Fisicamente, a quantidade de movimento (\vec{Q}) de um objeto, em cada instante, corresponde ao produto de sua massa (m) pela velocidade (\vec{v}). $\vec{Q} = m\vec{v}$ ” (6). (p.33).

Mais adiante toma a expressão (fórmula) da segunda lei de Newton na forma $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{Q}}{\Delta t}$ (7), faz comentários explicativos sobre a proporcionalidade entre os elementos constituintes, a partir daí escreve a citada relação na forma $\vec{F}\Delta t = \Delta \vec{Q}$ (8) e, finalmente, chega à expressão $\vec{I} = \Delta \vec{Q}$ (9).

R4.– Física: Ciência e Tecnologia de Penteado e Torres (2005)

No volume 1 da obra “Ciência e Tecnologia”, mais precisamente no capítulo 5, os autores abordam a temática Quantidade de Movimento e Impulso.

Desde o início do capítulo, se observa a preocupação deles com a necessidade de contextualizar historicamente os conteúdos e sempre relacioná-los com fatos cotidianos. Essa dupla preocupação nos parece didaticamente bastante pertinente para textos que se propõem a ensinar os saberes escolares.

Conhecer, ainda que de forma sucinta, como os conceitos evoluíram ao longo dos tempos, um pouco da epistemologia, bem como os estudiosos historicamente envolvidos, parece-nos fundamental para o processo de aprendizagem dos estudantes. Relacionar os saberes com fatos do dia-a-dia das pessoas também pode favorecer um aprendizado significativo desses saberes nos processos de ensino e aprendizagem.

Essas preocupações por parte do livro, a nosso ver, tanto podem fazer os estudantes perceberem que a ciência está sempre em evolução e que é construída por nós seres humanos, quanto podem encurtar a distância entre o saber científico e a ciência do cotidiano.

A título de exemplo, em “O princípio da conservação da quantidade de movimento” (p.126), os autores começam com uma pergunta: “Podemos aplicar o princípio da quantidade de movimento a qualquer interação entre corpos?” E como resposta tem-se: “Podemos aplicar o princípio da conservação da quantidade de movimento à interação entre os corpos de um sistema isolado de forças externas”. Explicam também o que é um sistema isolado de forças externas e o exemplificam, com o caso de uma “explosão” de núcleo atômico radiativo e outras situações cotidianas, aplicando o princípio da conservação.

Notamos, portanto, que embora o texto faça uso das expressões matemáticas, estas não são colocadas em lugar de destaque em detrimento aos princípios e conceitos trabalhados ao longo do texto.

R5.– Física de Sampaio e Calçada (2005)

Trata-se de um texto que privilegia, sobretudo, as equações. A expressão matemática constitui o carro chefe para definição dos conceitos. Não há

contextualização histórica, tampouco relação dos conteúdos apresentados com situações-problema do cotidiano das pessoas.

No item “quantidade de movimento de um corpo”, os autores definem a quantidade de movimento como (6) e chamam a atenção que os vetores \vec{v} e \vec{Q} têm a mesma direção e sentido. Apresentam as unidades e mostram um exemplo resolvido com aplicação da “fórmula”.

Por exemplo, em “Quantidade de movimento de um sistema”, o texto considera que, num sistema formado por n partículas, “A quantidade de movimento total, no instante t , é o vetor \vec{Q} dado pela soma vetorial das quantidades de movimento de cada partícula: $\vec{Q} = \vec{Q}_1 + \vec{Q}_2 + \vec{Q}_3 + \dots + \vec{Q}_n$ ” (10). (p.130).

Sobre o “Princípio de conservação da quantidade de movimento” (p.131), o texto começa falando de forças internas e externas e enuncia o princípio de conservação da quantidade de movimento, dizendo que “A quantidade de movimento de um sistema isolado é constante” (p.132). Continua com exercícios resolvidos nos quais aparecem situações em que $\vec{Q}_{(antes)} = \vec{Q}_{(depois)}$ (11), expressão matemática da conservação da quantidade de movimento, é usada.

R6.– Universo da Física de Sampaio e Calçada (2005)

Como nesta obra os autores dispunham de mais espaço para a exposição didática dos conteúdos, por se tratar de um dos três volumes da obra completa, pode-se observar que os conteúdos foram mais explorados e detalhados, comparados ao volume único. Entretanto, a postura didática de supervalorização das fórmulas e expressões matemáticas foi mantida. Podemos verificar isso ao longo de todo texto.

Somente a título de ilustração, vejamos o que dizem os autores quando se referem ao conceito de impulso: “O impulso de uma força constante F , num intervalo de tempo Δt , é igual à variação da quantidade de movimento produzida por essa força, no intervalo de tempo Δt ”. (p. 390).

Como se pode observar, essa citação nada mais é do que a leitura da expressão (9), chamada de teorema do impulso. E o conceito físico de impulso?

Discussão

Fazendo uma análise crítica e reflexiva da exposição didática dos conteúdos nos livros de textos recomendados pelo PNLD, podemos observar que, em geral, os textos didáticos, embora apresentem características variadas na abordagem didática, à exceção da obra referência R5 (Penteado & Torres, 2005), todos eles caracterizam-se pelo excesso de formalismo matemático. A formulação matemática, como referência para explicação dos fenômenos e/ou definição de significados e conceitos, constitui-se a tônica das obras aqui analisadas.

Evidentemente que no estudo dos conteúdos da Física (leis, princípios, conceitos, significados,...), as equações matemáticas são imprescindíveis,

entretanto elas não podem (e nem devem) ser priorizadas em detrimento à fenomenologia da matéria em estudo e suas implicações conceituais.

É contestável o fato dos aprendizes serem expostos ao aparato matemático-formal, antes mesmo de compreenderem os conceitos, como afirma o texto do GREF/USP, 1996 (apud Wuo, 2000). É preciso estar atento e trabalhar no sentido de evitar essa distorção pedagógica.

Relacionar a matéria estudada com o cotidiano do sujeito-aprendiz; tecer considerações sobre a História da Ciência, tendo em vista a evolução epistemológica dos conceitos; propor atividades que envolvam a observação e a experimentação dos fenômenos em estudo, são algumas das estratégias que certamente poderão contribuir para facilitar o entendimento da Física apresentada nos textos e manuais didáticos.

Além das considerações supracitadas, a valorização dos conceitos em lugar de uma visão "matematizante" da Física, como diz Amaldi, 1995 (apud Wuo, 2000) na sua obra, aliada às experiências do aluno e aquilo que ele já sabe, podem constituir-se num bom referencial didático-pedagógico para o ensino de Física, se bem apresentado no livro de texto e adequadamente mediadas pelo professor em sala de aula.

Essas colocações se fazem necessárias e pertinentes, tendo em vista o nível de influência que os textos didáticos exercem diretamente sobre os estudantes e indiretamente sobre esses através dos seus professores.

Em outras palavras, a maneira como os conteúdos deste estudo (impulso, quantidade de movimento e sua conservação) são apresentados nos livros, pode favorecer (ou não) aos estudantes a elaboração de representações internas (modelos mentais), construídas idiossincraticamente, para representarem sistemas ou estados físicos. Enquanto isso, esses livros apresentam suas representações externas (modelos conceituais), inventadas e construídas pelos autores, a partir do chamado saber sábio, para facilitar o entendimento dos tais sistemas ou estados físicos.

Esses modelos, os conceituais, são representações bem definidas e coerentes com o saber científico, como tal eles interferem substancialmente na construção dos primeiros, os mentais. Entre as formas de expressão dessas representações, estão as equações matemáticas, objeto do nosso estudo. Podemos dizer que as equações matemáticas, enquanto modelos conceituais e extremamente utilizados pelos textos didáticos e pelos professores em suas aulas constituem-se, como tal, num fator de grande poder de persuasão, na medida em que se promove um ensino de Física no qual leis, princípios, conceitos e significados são resumidos em expressões matemáticas que servem, apenas, como elementos que relacionam grandezas entre si e como fórmulas para resolver problemas.

Com base nos dados advindos dessa análise, se pode corroborar tudo aquilo que temos observado, ao longo da nossa vivência como professor de Física. As situações físicas propostas aos estudantes nos livros didáticos levam-nos a elaborar categorias de pensamento que se constituem de esquemas com características das situações às quais se aplicam. Em outras palavras, na maioria das vezes, propõem-se aos estudantes situações cujos conhecimentos-em-ação (conceito-em-ação e teorema-em-ação) usados

para resolvê-las relacionam-se mais com os aspectos operacionais das expressões matemáticas do que com os conceitos físicos envolvidos na situação-problema proposta.

Sendo assim, alguns alunos conseguem até resolver o problema sob o ponto de vista matemático sem, entretanto, necessitar conhecer os conteúdos físicos envolvidos, o que, no nosso entender, compromete a compreensão de conceitos e significados físicos que permeiam a situação-problema. Ou seja, os alunos podem saber empregar as fórmulas para resolver um problema (conhecimento procedimental) e não saberem descrever ou dar significado aos conceitos (conhecimento declarativo) nele envolvidos.

Esse quadro que ora esboçamos para o ensino de Física, no qual as situações propostas requerem dos aprendizes destreza com os conhecimentos matemáticos, para operarem as expressões matemáticas, além de comprometer a aprendizagem significativa dos conteúdos físicos, podem constituir-se em obstáculos epistemológicos que certamente terão influência decisiva no processo de conceitualização, uma vez que (Moreira, 2004).

Uma definição pragmática poderia considerar um conceito como um conjunto de invariantes utilizáveis na ação, porém esta definição implica também um conjunto de situações que constituem o referente e um conjunto de esquemas postos em ação pelos sujeitos nessas situações. (p.11).

Vislumbra-se aí o triplete (S, I, R) de conjuntos como Vergnaud define conceito, no qual S é o referente (conjunto de situações que dão sentido ao conceito); I, o significado (conjunto de invariantes operatórios) e R, o significante (conjunto de representações simbólicas e/ou linguísticas), aspectos interagentes do pensamento. Nesse contexto, as equações matemáticas (fórmulas) são as tais representações simbólicas usadas pelos estudantes para dar significado ao conceito, o que é insuficiente.

Embora este estudo tenha sido desenvolvido levando-se em conta o conteúdo-recorte “impulso e quantidade de movimento e sua conservação”, os conceitos envolvidos nas situações enfrentadas pelos estudantes dão conta de um conjunto mais amplo de conceitos, o campo conceitual da Mecânica, que requer o domínio de vários e distintos conceitos.

Considerando que as situações propostas exigem o conhecimento de variados conceitos de um mesmo campo conceitual, para sua solução, e que estes “se tornam significativos através de situações resulta, naturalmente, que as situações e não os conceitos constituem a principal entrada num campo conceitual”. (op. cit., p.11).

Sendo assim, propor aos estudantes situações cuja solução possa ser encontrada sem a necessidade do entendimento dos conceitos físicos nelas envolvidas, contribui para um estado de coisas que favorece a aprendizagem mecânica de pseudoconceitos em vez da aprendizagem significativa dos verdadeiros conceitos e significados das grandezas físicas e do conseqüente campo conceitual ao qual elas pertencem.

Nesse sentido, urge a necessidade de elaborar e implementar estratégias de exposição didática nos livros de Física que contribuam com os estudantes na conceitualização e na elaboração de representações, permitindo-os (re)significar as equações matemáticas como uma linguagem especial, de poder preditivo e, por consequência, muito além de simples fórmulas ou receitas para resolução de questões.

Conclusão

Considerando a análise desses conteúdos, aliados às teorias que suportam este estudo, concluímos que as equações matemáticas desempenham um papel de fundamental importância no ensino da Física, em particular no processo de conceitualização, por constituírem-se em representações simbólicas que deveriam ser usadas pelos estudantes para dar significado, juntamente com as situações, aos conceitos e, assim sendo, a sua utilização deve ser objeto de atenção para quem as usam tanto na exposição dos conteúdos nos textos didáticos de Física, quanto no planejamento e execução de sequências didáticas desenvolvidas junto aos alunos em atividades de estudo.

As equações matemáticas são importantes, sem dúvida, mas a conceitualização é o núcleo do desenvolvimento cognitivo e há conceitos estruturantes em qualquer campo de conhecimento. Ou seja, a primazia está nos conceitos, mas estes envolvem três aspectos: as situações que lhes dão sentido, os invariantes operatórios e atributos que lhes dão operacionalidade e as representações. Focar apenas nas equações, como geralmente fazem os livros de texto de Física é uma abordagem incompleta que, via de regra, leva a aprendizagem mecânica e a rejeição à Física de parte da grande maioria dos alunos, em qualquer nível de escolaridade.

Referências bibliográficas

- Alvarenga, B. e A. Máximo. (2008). *Curso de Física*. v. 2. São Paulo: Scipione.
- Alves Filho, J.; Pinheiro, T. e M. Pietrocola (2001). A Eletrostática como exemplo de Transposição Didática. Em M. Pietrocola (org.). *Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia numa Concepção Integradora* (pp. 77-99). Florianópolis, Editora da UFSC.
- Anjos, A.J. (2009). El aprendizaje en Física bajo el punto de vista del significado atribuido por los estudiantes a las ecuaciones matemáticas. *Suficiencia de Investigación presentada al Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias (PIDEC) de la Universidad de Burgos*. Burgos, España.
- Ausubel, D.P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Chevallard, Y. (1991). *La Transposition Didactique – du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble: La Pensée Sauvage Éditions.
- Gaspar, A. (2008). *Física*. São Paulo: Editora Ática.

Gonçalves Filho, A. y C. Toscano (2008). *Física*. V. único. São Paulo: Editora Scipione.

Moreira, M.A. (1999). Modelos Mentales. Programa Internacional de Doctorado em Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos, España, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. *Texto de Apoio* n.8.

Penteado, P.C.M. y C.M. Torres. (2005). *Física: ciência e tecnologia*, v.1. São Paulo: Editora Moderna.

Moreira, M.A. (1999). *Aprendizagem Significativa*. Brasília. Editora Universidade de Brasília

Moreira, M.A. (2004). *A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a investigação nesta área*. Porto Alegre: IFUFRGS.

Moreira, M.A. (2005). Modelos Mentais. Em M. A. Moreira (org.). *Representações Mentais, modelos mentais e representações sociais*. Porto Alegre: IFUFRGS.

Oliveira, A.T. (2003). *Fórmulas e palavras: reflexões sobre o ensino da lei de Coulomb*. Tese de Doutorado. Niterói: UFF.

Sampaio, J L. e C.S. Calçada. (2005). *Física*, v. único, 2 ed. São Paulo: Editora Atual.

Sampaio, J.L. e C.S. Calçada. (2005). *Universo da Física*, v.1, 2 ed. São Paulo: Editora Atual.

Triviños, A.N. (1987). *Introdução à Pesquisa em Ciências Sociais: a pesquisa qualitativa*. São Paulo: Atlas.

Wuo, W. (2000). *A Física e os livros: uma análise do saber físico nos livros didáticos adotados para o ensino médio*. São Paulo: EDUC.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10, 23, 133-170.